

ELECTRON TUBE

Patent number: JP9297055
Publication date: 1997-11-18
Inventor: SUYAMA MOTOHIRO; KAWAI KATSUHIKO; KIMURA SUENORI; HIRANO MASARU; ASAKURA NORIO; MORITA TETSUYA
Applicant: HAMAMATSU PHOTONICS KK
Classification:
- International: G01J1/02; G01J1/42; H01J40/04
- european: H01J43/04; H01J43/08; H01J43/28
Application number: JP19960111656 19960502
Priority number(s): JP19960111656 19960502

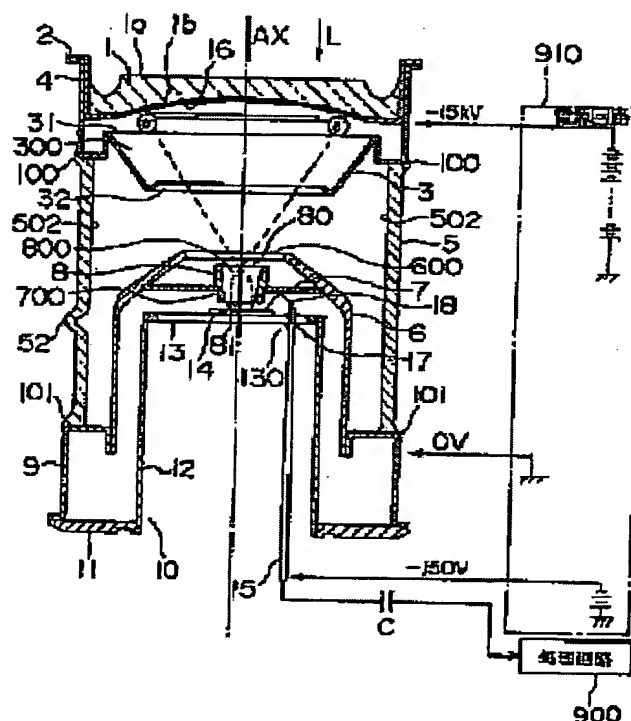
Also published as:

EP0805478 (A)
US5917282 (A)
EP0805478 (A)
EP0805478 (B)

Report a data error he

Abstract of JP9297055

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain such a structure that can stabilize the orbit of electron accelerated and focused by an electronic lens and effectively suppress the generation of noises due to discharging. **SOLUTION:** A cathode electrode 3 constituting an electronic lens extends partly toward a stem 10 along an inner wall 502 of an insulation container 5 and its tip end becomes thinner toward the stem 10, so that the tip end of the electrode 3 is apart from the inner wall 502 of the container 5. Thus, the container 5 is prevented from charging, and the discharging together with light emission to the electrode 3 and the container 5 can be suppressed.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-297055

(43) 公開日 平成9年(1997)11月18日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 J	1/02		G 0 1 J	1/02 D
	1/42			1/42 G
H 0 1 J	40/04		H 0 1 J	40/04

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平8-111656

(22) 出願日 平成8年(1996)5月2日

(71) 出願人 000236436

浜松ホトニクス株式会社

静岡県浜松市市野町1126番地の1

(72) 発明者 須山 本比呂

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ
トニクス株式会社内

(72) 発明者 河合 克彦

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ
トニクス株式会社内

(72) 発明者 木村 未則

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ
トニクス株式会社内

(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

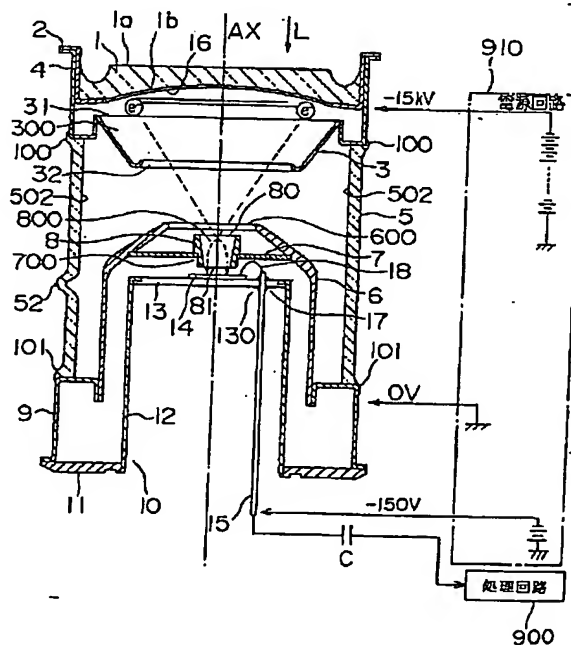
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電子管

(57) 【要約】

【課題】 電子レンズにより加速・収束された電子の軌道を安定にするとともに、放電によるノイズ発生を効果的に抑制する構造を得る。

【解決手段】 電子レンズを構成するカソード電極3を、その一部が絶縁容器5の内壁502に沿ってステム10に向かって延び、かつその先端部分がステム10に向かって細くなる形状にすることにより、該絶縁容器5の内壁502からカソード電極3の先端部分を離間させる。これにより、該絶縁容器5の帯電を防止し、該カソード電極3と該絶縁容器5までの発光を伴う放電を抑制する構造を実現している。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 の開口と該第 1 の開口と反対側に位置する第 2 の開口を有する、絶縁性材料からなる容器と、

前記絶縁容器の第 1 の開口側に位置し、入射された光に対応して光電子を放出するための光電面と、

前記絶縁容器の第 2 の開口側に位置し、前記光電面と該光電面から放出された光電子が到達する電子入射面との距離を規定するためのステムと、

前記光電面と前記ステムとの間の空間内に設けられ、該光電面から放出された光電子を加速するとともに、該光電子の軌道を収束させるための電子レンズとを備えた電子管において、

前記電子レンズは、前記光電面から放出された光電子を前記電子入射面に向かって通過させるための貫通孔を有し、その一部が前記絶縁容器の内壁に沿って前記ステムに向かって延びた形状を有するカソード電極と、該カソード電極と通過した光電子を該電子入射面に向かって通過させるための開口部を有するアノード電極とを備え、さらに、前記カソード電極における前記貫通孔の断面積は、前記光電面から前記ステムに向かって小さくなっていることを特徴とする電子管。

【請求項 2】 第 1 の開口と該第 1 の開口と反対側に位置する第 2 の開口を有する、絶縁性材料からなる容器と、

前記絶縁容器の第 1 の開口側に位置し、入射された光に対応して光電子を放出するための光電面と、

前記光電面から放出された光電子が到達する電子入射面を有するとともに、該電子入射面が前記光電面と対向するように配置される半導体素子と、

前記絶縁容器の第 2 の開口側に位置し、前記光電面と前記半導体素子の電子入射面との距離を規定するためのステムと、

前記光電面と前記ステムとの間の空間内に設けられ、該光電面から放出された光電子を加速するとともに、該光電子の軌道を収束させるための電子レンズとを備えた電子管において、

前記電子レンズは、前記光電面から放出された光電子を前記半導体素子に向かって通過させるための貫通孔を有し、その一部が前記絶縁容器の内壁に沿って前記ステムに向かって延びた形状を有するカソード電極と、該カソード電極と通過した光電子を該半導体素子に向かって通過させるための開口部を有するアノード電極とを備え、さらに、前記カソード電極における前記貫通孔の断面積は、前記光電面から前記ステムに向かって小さくなっていることを特徴とする電子管。

【請求項 3】 前記カソード電極の、前記ステムに向かって延びる一部は、前記絶縁容器の第 1 及び第 2 の開口によって定義される該絶縁容器の内部空間内に収納され、かつ該カソード電極における前記貫通孔のステム側

開口は、該絶縁容器の内部空間内に位置することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の電子管。

【請求項 4】 前記カソード電極は、前記ステム側に延びたその先端部分が所定の曲率で内側に曲げられていることを特徴とする請求項 1～3 のいずれか一項記載の電子管。

【請求項 5】 前記アノード電極は、その一部が前記絶縁容器の内壁に沿って前記光電面に向かって延びた形状を有するとともに、前記カソード電極における貫通孔のステム側開口及び前記アノード電極の開口部は、ともに、前記絶縁容器の前記第 1 及び第 2 の開口によって定義される該絶縁容器の内部空間内に位置することを特徴とする請求項 1～4 のいずれか一項記載の電子管。

【請求項 6】 前記アノード電極の開口部を通過した光電子を通過させるための、前記光電面から前記ステムに向かって延びた貫通孔を有するとともに、該アノード電極に収納された電極であって、該貫通孔に入射された光電子の軌道を修正するためのコリメータ電極を備えることを特徴とする請求項 1～5 のいずれか一項記載の電子管。

【請求項 7】 前記コリメータ電極における前記貫通孔の断面積は、前記光電面から前記ステムに向かって小さくなっていることを特徴とする請求項 6 記載の電子管。

【請求項 8】 前記コリメータ電極における前記貫通孔のステム側開口の面積は、前記電子入射面よりも小さいことを特徴とする請求項 6 又は 7 記載の電子管。

【請求項 9】 前記アノード電極と直接接触し、かつ前記コリメータ電極を該アノード電極内の所定の位置に保持するための開口部を有する遮蔽板を備えたことを特徴とする請求項 6～8 のいずれか一項記載の電子管。

【請求項 10】 前記遮蔽板における前記開口部の面積は、前記コリメータ電極における前記貫通孔の光電面側開口の面積よりも小さく、かつ該コリメータ電極における前記貫通孔のステム側開口の面積よりも大きいことを特徴とする請求項 9 記載の電子管。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、微弱な光を定量的に計測するための光検出器に関し、特に、光電面と該光電面から放出された光電子を検出等するためのセンシング・デバイスを備えた電子管に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、光電面から放出された光電子を電子レンズで加速・収束し、該光電子をセンシング・デバイスとして、例えば半導体素子に入射して高いゲインを得る電子管が知られている。この従来の電子管は、例えば、特開平 6-318447 号公報、特開平 5-54849 号公報、特開平 7-320681 号公報、あるいは G.A.Johansen, "Operational characteristics of an electron-bombarded silicon-diode photomultiplier tu

be", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A326(1993), p.295-298などに開示されている。

【0003】特に、上記特開平6-318447号公報、及び特開平7-320681号公報には、光電子が通過するための開口部を有する平板電極によって構成された電子レンズが開示されている。一方、上記特開平5-54849号公報、及びJohansen文献には、光電子が通過するための開口部を有する円筒状電極によって構成された電子レンズが開示されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】上述のように、電子レンズが平板状電極で構成されている電子管の場合、絶縁性材料からなる容器の内壁が真空中を走行する光電子に対して露出した構造となる。したがって、このような構造の電子管では、迷走電子によるバルブ内壁の帯電によって、電子軌道が乱され、安定な出力が得られないという課題がある。

【0005】さらに、上述のように、電子レンズが円筒状電極で構成されている電子管の場合は、耐圧が問題となる。すなわち、このような電子管は、光電面に印加される電圧が-7kV程度を越えると間欠的な放電が発生する。この放電は発光を伴うことが多く、その放電により生じた光が任意の経路を通過して光電面に戻り、疑似信号(ノイズ)を発生する。この疑似信号は、微弱光計測時のS/Nを著しく低下させるという課題がある。

【0006】特に、センシング・デバイスとして、光電面から放出された光電子を増倍する半導体素子を備える電子管の場合、この光電面に印加される電圧を、-6kVよりプラス側に設定すると、上述の放電の可能性は低減する一方、当該半導体素子のゲインが不足する結果となる。これは、半導体素子への入射電子のエネルギーがゲインに変換されるという、半導体素子を有する電子管の特性に起因して避けられない。

【0007】さらに言及すれば、電子レンズが円筒状であっても、絶縁容器が電子軌道に対して直接露出していると、この絶縁容器が帯電することにより、電子軌道自体を不安定にする。

【0008】この発明は上記のような課題を解決するためになされたもので、光電面に-15kV程度の電圧を印加して高いゲインを維持しながら、電子レンズにより加速・収束された電子の軌道を安定させるとともに、上述の放電によるノイズ発生の抑制に有効な構造を備えた電子管を提供することを目的としている。

【0009】

【課題を解決するための手段】この発明に係る電子管は、第1の開口と該第1の開口と反対側に位置する第2の開口を有する、絶縁性材料からなる容器と、この絶縁容器の第1の開口側に位置し、入射された光に対応して光電子を放出するための光電面と、絶縁容器の第2の開口側に位置し、光電面と該光電面から放出された光電子

が到達する電子入射面との距離を規定するためのステムと、光電面とステムとの間の空間内に設けられ、該光電面から放出された光電子を加速するとともに、該光電子の軌道を収束させるための電子レンズとを備える。

【0010】なお、上記電子入射面は、光電面から放出された光電子を検出等するためのセンシング・デバイスの入射面であって、例えば、光電面から放出された光電子を増倍(該電子のエネルギーをゲインに変換)するアバランシェ・ホトダイオード等の半導体素子の電子入射面に相当する。また、当該電子管において、上記電子レンズは、少なくとも、光電面から放出された光電子を電子入射面に向かって通過させるための貫通孔を有するカソード電極と、該カソード電極を通過した光電子を該電子入射面に向かって通過させるための開口部を有するアノード電極とから構成されている。

【0011】特に、上記電子レンズにおけるカソード電極は、その一部が絶縁容器の内壁に沿ってステムに向かって延びた形状を有する。そして、上記絶縁容器の帯電に起因する不具合を回避すべく、該カソード電極における貫通孔の断面積(管軸方向に対して垂直な面によって定義される該貫通孔の面積)は、該カソード電極が光電面からステムに向かって絶縁容器の内壁から離間していくよう、該光電面から該ステムに向かって小さくなっている。換言すれば、該カソード電極における貫通孔のステム側開口の面積は、このカソード電極における貫通孔の光電面側開口の面積よりも小さく設定されている。さらに、上記カソード電極の先端部分(当該カソード電極のステム側)は、所定の曲率で内側に曲げられている。

【0012】さらに、この発明に係る電子管における上記アノード電極は、その一部が絶縁容器の内壁に沿って光電面に向かって延びた形状を有する。そして、上記カソード電極における貫通孔のステム側開口及びアノード電極の開口部は、ともに、絶縁容器の第1及び第2の開口によって定義される該絶縁容器の内部空間内に位置している。すなわち、上記カソード電極は、アノード電極に向かって突出した形状を有し、上記アノード電極は、カソード電極に向かって突出した形状を有する。換言すれば、当該電子管は、出力電流の安定化の観点から、該カソード電極とアノード電極とを近づけた構造を実現することにより、カソード電極からアノード電極に向かう電子に対し、直接露出する上記絶縁容器の内壁が最小限になるよう構成されている。

【0013】さらに、この発明に係る電子管は、上記アノード電極の開口部をさらに通過した光電子を通過させるための、光電面からステムに向かって延びた貫通孔を有するとともに、該アノード電極に収納された電極であって、該貫通孔に入射された光電子の軌道を修正するためのコリメータ電極を備える。このコリメータ電極は、光電面から放出された電子が、例えば、上述の半導体素子の電子入射面に対して垂直に入射するよう、該電子の

軌道を修正するよう機能する。当該電子管における電子数の高い弁別能力を維持するためである。さらに、該コリメータ電極の貫通孔は、この機能を向上させるべく、その断面積（管軸方向に対して垂直な平面によって定義される該貫通孔の面積）が、光電面からステムに向かって小さくなるよう形成されている。

【0014】上記コリメータ電極と上記電子入射面との構造上の関係について言及すると、該コリメータ電極における貫通孔のステム側開口の面積は、該電子入射面よりも小さい。すなわち、コリメータ電極により軌道修正された電子が垂直に入射する該電子入射面の有効領域は、該電子入射面の面積よりも小さくなる。これは、素子保護の観点から、上記電子入射面以外に到達する電子の衝突を回避する必要があるとともに、不要な帯電を防止する必要があるからである。

【0015】この発明に係る電子管は、さらに、上記コリメータ電極を上記アノード電極内の所定位置に固定すべく、該コリメータ電極を保持する開口部を有する金属遮蔽板を備える。この遮蔽板上に上記電子入射面以外への電子の進行を阻止すべく機能する。また、この遮蔽板は、アノード電極の内壁に直接固定され、かつコリメータ電極をその開口部で直接支持している。この構造により、上記アノード電極とコリメータ電極とは、同電位に設定される。さらに、この遮蔽板における開口部の面積は、コリメータ電極を直接支持するため、該コリメータ電極における貫通孔の光電面側開口の面積よりも小さく、かつ該コリメータ電極における貫通孔のステム側開口の面積よりも大きくなっている。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、この発明に係る電子管の実施例を図1～図10を用いて説明する。なお、図中同一部分には同一符号を付して説明を省略する。また、光電面から放出された光電子が到達する電子入射面を有するセンシング・デバイスとして、この実施例では、該電子入射面から入射された電子を増倍する半導体素子を備えた電子管について説明する。この半導体素子を備えた電子管は、1イベント当たり10個程度と非常に微弱な光を定量的に計測するための光検出器として有効である。

【0017】この図において、絶縁容器5は、その全長が2.4mm、その直径が2.5mm程度の円筒中空のガラスバルブである。そして、該絶縁容器5の第1の開口500側及び第2の開口501側のそれぞれには、高さ3.5mm程度の円筒形状のコパール金属製のフランジ4及びフランジ9が融着されている。また、ガラスバルブ5の側壁には該容器5を真空排気し、かつ光電面形成用の金属蒸気を注入するための注入パイプ50が形成されている。

【0018】入力面板1は、平坦に加工された、光の入射側に位置する第1面1aと、該第1面1aと反対側に位置し、ステム10に凹面を向けた形状の第2面1bを

有するガラス板1である。このガラス板1はコパール金属製のフランジ2に融着され、さらに、該フランジ2は、上記ガラスバルブ5に融着されたフランジ4に溶接固定されている。後に、上記ガラス板1の第2面1b上には、有効径1.6mmの光電面16が形成される。

【0019】一方、上記ガラスバルブ5に融着されたフランジ9には、光電面16と半導体素子14（電子入射面）との距離を規定するための、コパール金属製のステム10が溶接固定されている。このステム10は、部材11、12、13から構成されており、その中央部分が光電面側に突出した断面凸形状である。なお、このステム10を構成する部材13の光電面側の面には上記半導体素子14が搭載されており、該部材13に設けられた貫通孔130を介してリードピン15が固定されている。

【0020】以上のように構成される容器内には、該光電面16（ガラス板1）とステム10との間の空間内に、該光電面16から放出される光電子を加速するとともに該電子の軌道を収束させるための電子レンズが設けられている。この電子レンズは、少なくとも、上記フランジ4に溶接固定された、ステンレス製のカソード電極3と、該カソード電極3よりも高い電位に設定されるステンレス製のアノード電極6から構成されている。カソード電極3はガラス板1からステム10に向かって貫通した貫通孔300を有するとともに、該ステム側に突出した形状を有する。また、アノード電極6は、該カソード電極3を通過した電子をさらに通過させるための開口部600を有するとともに、該カソード電極3に向かって突出した、中空の円筒形状を有する。このアノード電極6は上記ガラスバルブ5に融着されたフランジ9に溶接固定されている。

【0021】さらに、上記アノード電極6内には、アノード電極6の開口部600を通過した電子が上記半導体素子14の電子入射面に垂直に入射するよう、該電子の軌道を修正するための、ステンレス製のコリメータ電極8が設けられている。このコリメータ電極8には、該電子を半導体素子14に向かって通過させるための貫通孔800が設けられており、さらに、このコリメータ電極8は、金属製の遮蔽板7によって、アノード電極6内の所定位置に固定されている。

【0022】以上の各部材は、図1に示されたように、ガラスバルブ5の管軸方向AXに沿って、該ガラスバルブ5の第1の開口部500側及び第2の開口501側にそれぞれ取り付けられることにより、当該容器内部を真空状態に維持される密閉容器を構成している。

【0023】以上のように構成された密閉容器の一部破断斜視図を図2に示す。光電面16は、注入パイプ50の貫通孔51を介して容器内を真空にした状態で、該貫通孔51を介してK（カリウム）、Na（ナトリウム）、Cs（セシウム）の金属蒸気を順に注入し、これ

ら各金属をガラス板1の第2面1b上に順に堆積させることによりあらかじめ第2面1b上に堆積されているSb(アンチモン)と反応させる事で有効径16mm程度の領域として形成される。なお、これら金属は、管全体を加熱するとともに、該ガラス板1をやや低温に維持しておくことにより、第2面1bに選択的に蒸着させることができる。そして、以上のように光電面16が形成されると、該密閉容器内を真空状態に保持すべく、図3に示されたように、注入パイプ50の貫通孔51を塞ぐよう切断する。なお、図中、52は切断された注入パイプ50の一部である。また、図4は、注入パイプ50が切断された後(光電面16が形成された後)の、図2中のD-D線に沿った、当該電子管の構造を示す断面図であり、さらに、図4中、100はガラスバルブ5とフランジ4との融着部分を示し、101はガラスバルブ5とフランジ9との融着部分を示す。

【0024】上記アノード電極6は、中空の円筒部分と開口部600が形成された円錐部分から構成されており、光電面16に向かってガラスバルブ5端(第2の開口500から当該ガラスバルブ5の内部に向かって)より凸状に突出した形状のステンレス電極である。このアノード電極6の全長は18mmであり、該アノード電極6に設けられた開口部600の内径は8mmである。なお、このアノード電極6の形状は、ステンレス板から切出された、中央に開口部を有するディスク板をプレス加工することにより得られる。

【0025】図5に示されたように、このアノード電極6には、その内部の所定位置にコリメータ電極8が遮蔽板7を介して固定されている。すなわち、該アノード電極6の内壁には、図4に示された光の入射方向L(ガラスバルブ5の管軸方向AXと一致している)に対して垂直に形成された溝60(係合溝)が形成されており、遮蔽板7は該溝60にそのエッジ部分を係合させた状態で、該アノード電極6に溶接固定されている。これにより、当該遮蔽板7とアノード電極6は同電位に設定される。さらに、この遮蔽板7は、コリメータ電極8を保持するための開口部700が設けられており、該開口部700にコリメータ電極8を挿入した状態で、該コリメータ電極8の接合面82と該遮蔽板7の光電面側の面とを溶接固定することにより、該コリメータ電極8はアノード電極6内の所定位置に固定される。なお、コリメータ電極8を保持すべく、遮蔽板7の開口部700の面積は、コリメータ電極8における貫通孔800の光電面側開口80の面積よりも小さく、かつコリメータ電極8における貫通孔800のステム側開口81の面積よりも大きい。

【0026】次に、図6を用いて、この発明に係る電子管におけるカソード電極3の構造を説明する。

【0027】このカソード電極3は、貫通孔300を有する電極であり、該貫通孔300の断面形状(管軸方向A

Xに対して垂直な平面によって定義される該貫通孔300の面積)は、光電面16から半導体素子14に向かって小さくなっている。カソード電極3の光電面側の先端部分にはフランジ4に当該カソード電極3を固定するための当接面30aを備えたエッジ部30が設けられている。該カソード電極3のステム側の先端部分は、図4に示されたように、ガラスバルブ5の内壁502に沿って半導体素子14に向かって延びている。したがって、このカソード電極3のステム10に向かって突出した部分は、光電面16からステム10に向かって徐々に、ガラスバルブ5の内壁502から離間している(該カソード電極3のステム側の先端部分は、該ステム10に向かって細くなっている)。換言すれば、当該カソード電極3における貫通孔300の光電面側開口31の面積S1は、当該カソード電極3における貫通孔300のステム側開口32の面積S2よりも大きくなっている。さらに、カソード電極3のステム側の先端部分は、曲率半径rが1mmである半円状に加工され、ガラスバルブ5の管軸に向いている。

【0028】なお、このカソード電極3において、光電面側開口31の直径は22mm、ステム側開口32の直径は16mmであり、その全長は6mmである。また、このカソード電極3の形状も、上述されたアノード電極6と同様に、ステンレス板から切出された、中央に開口部を有するディスク板をプレス加工することにより得られる。

【0029】電子レンズを構成するカソード電極3を以上のような形状で構成することにより、密閉容器内の真空中を走行する電子に対し、絶縁性のガラスバルブ5の内壁502を該カソード電極3が遮る構造が実現でき、従来と比較しても、迷走電子による該ガラスバルブ5の内壁502の帯電に起因した電子軌道の乱れを抑制し、安定した出力が得られる。さらに、該ガラスバルブ5の内壁502の帯電を効果的に抑制できるので、該帯電に起因する間欠的な放電(発光を伴う場合あり)を回避することができる。したがって、当該電子管は、該放電により発生した光に対応して光電面16が電子を放出するという構造上の不具合を克服する。この結果、光電面16からは放電発光に起因する疑似信号(ノイズ)の発生が抑制されるので、微弱光計測時のS/Nは、従来の電子管と比較して著しく向上する。

【0030】次に、図7を用いて、この発明に係る電子管におけるコリメータ電極8の構造を説明する。

【0031】コリメータ電極8は、光電面16からステム10に向かって延びた貫通孔800を有する中空円筒状のステンレス電極である。このコリメータ電極8は遮蔽板7(支持電極)を介してアノード電極6と一体化して配置されている。

【0032】通常、光電面16から放出された電子 e^- は、カソード電極3及びアノード電極6からなる電子レ

10

20

30

40

50

レンズにより加速されるとともに、その軌道が収束されて半導体素子14の電子入射面に入射する。しかしながら、例えば、光電面16と半導体素子14を近接させ、さらに、有効径16mmの光電面16から放出された電子流の径を1.5mm程度に収束して半導体素子14に入射させるように電子レンズを構成すると、該光電面16の周辺部分から放出された電子 e^- は半導体素子14の入射面に対して垂直には入射しない。このように、入射面の垂直方向に対して所定の角度を持って電子 e^- が入射面に入射することは、該入射面に到達した電子が半導体素子14における電子増倍に寄与しない領域（デッド層）を横切る長さが長くなること、すなわち、該デッド層で失うエネルギー量が大きくなることを意味する。このことは、当該電子管の電子数の弁別能力を劣化させる。

【0033】一方、当該コリメータ電極8は、光電面16の周辺部分から放出され、半導体素子14に斜めに入射しようとする光電子 e^- を管軸方向AX（光の入射方向と一致している）に戻すような電界を形成する（図4参照）。これにより、光電面16内の全領域（有効径16mm）から放出された電子 e^- がデッド層で均一にエネルギーを失うことになるので、当該電子管の、電子数の弁別能力を高く維持することができる。

【0034】さらに、上記コリメータ電極8は、上述の効果をさらに増強すべく、図7に示されたように、その貫通孔800の断面積（管軸方向AXに対して垂直な平面によって定義される該貫通孔800の面積）が、光電面16からステム10に向かって小さくなっている。換言すれば、コリメータ電極8における貫通孔800の光電面側開口80の面積S3は、該コリメータ電極8における貫通孔800のステム側開口81の面積S4よりも大きい。

【0035】また、当該コリメータ電極8と半導体素子14の電子入射面との構造上の関係について言及すれば、該コリメータ電極8における貫通孔800のステム側開口81の面積S4は、後述する該半導体素子14の電子入射面の面積よりも小さい。すなわち、半導体素子14における電子入射面の有効面積よりも光電面から放出された電子が到達する領域の面積の方が小さくなっている。これにより、光電面16以外から偶発的に放出された電子が、半導体素子14の電子入射面以外に入射して、当該半導体素子14自体を劣化させたり（電子衝撃に起因した劣化）、不要な帯電を生じることがない。

【0036】なお、上記コリメータ電極8は、その全長が3.5mmのとき、貫通孔800の光電面側開口80の直径が3mmであり、該貫通孔800のステム側開口81の直径が2mmであることが好ましい（このとき、ステム側開口81の面積は、半導体素子14の電子入射面の面積よりも小さくなるよう設定される）。

【0037】ステム10は、中心に開口部を有するディ

スク形状の部材11（ステンレス）、該部材11の開口部にその一端が溶接固定されたステンレス・パイプ12、及び該ステンレス・パイプ12の他端を塞ぐディスク板13（コパール金属）から構成され、その形状は、光電面16に向かってガラスバルブ5の、第2の開口を有する端から突出した凸形状である。このステム10上（ディスク板13上）にボンディングされた半導体素子14が上述のコリメータ電極8を介して光電面16と反対側に配置される。さらに、ディスク板13には、半導体素子14からの出力信号を当該密閉容器の外部に出力するため、該ステム10と絶縁されたリードピン15が固定されている。

【0038】次に、図8及び図9を用いて、ステム10のディスク板13上に搭載された半導体素子14の構造を説明する。

【0039】この半導体素子14は、その電子入射面148が光電面16と対向するようステム10のディスク板13上に設置されている。この半導体素子14の後述する電極層146は、ディスク板13に設けられた貫通孔130を気密に挿通した金属製のリードピン15と、金属製のワイヤ18の端部をそれぞれボンディングすることにより、電気的に接続されている。半導体素子14の光電面側には、外部の電源回路910からリードピン15及びワイヤ18を介して所定の電圧が印加され、例えば電位約-150Vに保持されている。また、半導体素子14のディスク板13側は、上記電源回路910からステム10を介して電子レンズの印加電圧と同一の電圧を印加され、例えば電位約0Vに保持されている。これにより、半導体素子14は全体として逆バイアス電圧を印加されている。

【0040】なお、上記リードピン15は、半導体素子14から出力される検出信号（出力電流）を処理する処理回路900にコンデンサCを介して接続されている（図4参照）。また、ディスク板13の貫通孔130の内壁とリードピン15との間は、絶縁部材17が充填されている。さらに、当該半導体素子14において、光電子を受容して所定の増倍率で有効に増幅する電子入射面148の口径は、約3mmである。

【0041】図8に示されたように、この実施例では、上記半導体素子14としては、アバランシェ・ホトダイオード（以下、APDという）が利用されている。このAPD14は、n型の高濃度シリコン層である基板140を備え、該基板140の上には、その中央部分に、円板状でp型のキャリア増倍層141が形成されている。このキャリア増倍層141の外側であって、基板140上には該キャリア増倍層141と同じ厚さで高濃度n型層であるガードリング層142が形成されている。さらに、キャリア増倍層141上には、高濃度p型層である降伏電圧制御層143が形成されている。降伏電圧制御層143の周辺部分からガードリング層142に致る表

面側には、酸化膜144及び窒化膜145が形成されている。降伏電圧制御層143にアノード電位を供給するため、円環状にアルミを蒸着してアノード146（電極）が形成されている。また、該アノード146と間隙を持たせて、その周辺部分にガードリング層142と導通している周辺電極147を形成されている。

【0042】なお、このAPDの有効面（電子入射面148）はアノード146の内側部分で、直径3mmが好適である。また、このAPD14は、上述したように、樹脂149を介してディスク板13上にダイボンディングされている。該APD14のカソード電位はステム10を介して与えられる。

【0043】具体的には、APD14の基板140は、 n^+ 型のSiで形成された高濃度単結晶ウエハである。この半導体基板140は、厚みが約500 μm であり、 n 型ドーパントとしてP（リン）が濃度約 10^{19}cm^{-3} でドーピングされている。なお、この半導体基板140の比抵抗は約0.01 $\Omega\cdot\text{cm}$ である。

【0044】上記キャリア増倍層141は、 p 型のSiを半導体基板140上にエピタキシャル成長して形成された低濃度半導体層である。このキャリア増倍層141は、厚みが約10 μm であり、 p 型ドーパントとしてB（ボロン）が濃度約 $10^{14}\sim 10^{16}\text{cm}^{-3}$ でドーピングされている。なお、このキャリア増倍層141の比抵抗は約1～100 $\Omega\cdot\text{cm}$ である。キャリア増倍層141のドーパント濃度は、降伏電圧に近い電圧を印加したときに半導体基板140との接合面から拡がる空乏層が降伏電圧制御層143に到達する値である。

【0045】なお、このキャリア増倍層141において良好な結晶性を保持してエピタキシャル成長させるため、該キャリア増倍層141の層厚 d は、約5 μm ～約50 μm の範囲内に設定するのが好ましい。もし、層厚 d が約50 μm よりも大きい場合、層厚方向（ステム10に搭載された状態で管軸方向Lに一致している）のドーパント濃度の不均一性が顕著になるので、光電面16から放出された電子に対するアバランシェ増倍ゲインのユニフォミティをキャリアの発生位置に依存して劣化させてしまう。一方、層厚 d が約5 μm よりも小さい場合、半導体基板140から伸びて拡がる空乏層が薄くなるので、該電子に対する当該APD14のゲインを低減させてしまう。

【0046】ここで、上記層厚 d を約10 μm に設定される理由は、加速エネルギー約15keVで放出された電子の、APD14中への最大到達距離約3 μm （APD14内に入射された該電子は、3.6eVのエネルギーを失うごとに電子-正孔対を1ヶづつ生成する）と、後述するアバランシェ増倍領域の層厚約3 μm とに対して、該電子に対するAPD14のゲインの揺らぎを最低限に押さえるためにそれぞれ若干の余裕を考慮したからである。

【0047】上記ガードリング層142は、 n 型ドーパントをキャリア増倍層141の周辺部に熱拡散して形成された高濃度半導体層である。このガードリング層142は、その膜厚がキャリア増倍層141の層厚と同じ（約10 μm ）であり、 n 型ドーパントとしてPが半導体基板140のドーパント濃度と同じ濃度約 10^{19}cm^{-3} でドーピングされている。

【0048】上記降伏電圧制御層143は、 p 型ドーパントをキャリア増倍層141の表面中央領域に熱拡散して形成された高濃度半導体層である。この降伏電圧制御層143は、その層厚は約1 μm であり、 p 型ドーパントとしてBが半導体基板140のドーパント濃度と同じ濃度約 10^{19}cm^{-3} でドーピングされている。この降伏電圧制御層143の表面中央部には、円形の電子入射面148が光電面16に対向して露出されている。なお、この電子入射面148の有効領域は、図9に示されたように、コリメータ電極8により、該電子入射面148の面積よりも小さい面積S5に制限されている。すなわち、入射された電子を受容可能な電子入射面148の口径は、上述したように約3mmであるのに対し、実際に電子が入射可能な領域の口径は2mm程度に制限される。

【0049】電子入射面148の周辺部に位置する降伏電圧制御層143の表面周縁部上の大部分と、ガードリング層142の表面全体上とは、2種類の絶縁層144、145が順次積層して形成されている。絶縁層144は、Siの酸化物で形成された絶縁性薄膜である。この絶縁層144の層厚は約200nmである。絶縁層145は、Siの窒化物で形成された絶縁性薄膜である。この絶縁層145の層厚は約50nmである。

【0050】なお、絶縁層144は、ガードリング層142及び降伏電圧制御層143を形成する際にキャリア増倍層141の結晶性を良好に保持するために、予めキャリア増倍層141の表面領域を酸化させて形成される。また、絶縁層145は、光電面16を形成する際にキャリア増倍層141、ガードリング層142及び降伏電圧制御層143の半導体特性を劣化させないために、絶縁層144上に堆積させて形成される。

【0051】上記絶縁層145上には、円環状のオーミック電極層146が形成されており、絶縁層144、145の側壁に沿って降伏電圧制御層143の表面周縁部に接触している。このオーミック電極層146は、Al（アルミニウム）で形成された金属薄膜であり、降伏電圧制御層143に対して良好なオーミック接触性を有している。

【0052】なお、上述したように、このオーミック電極層146は、ワイヤ18のボンディングによって外部の電源回路910から導電性リードピン15を介して所定の電圧が印加され、例えば-150Vの負電位に保持されている。また、半導体基板140は、ステム10上に設置され外部の電源回路910から所定の電圧を印加

され、例えば0Vのグラウンド(GND)電位に保持されている。これにより、 n^+ 型の半導体基板140と p^+ 型の降伏電圧制御層143との間に、すなわちキャリア増倍層141に空乏層がアバランシェ増倍領域として生成される。

【0053】このように構成された電子管の光電面16、カソード電極3には-15kV、アノード電極6には0V(グラウンド電位)が外部の電源回路910から印加される。このとき、カソード電極3、アノード電極6、及びコリメータ電極8は電子レンズを形成し、有効径16mmの光電面16から放出された電子流を、コリメータ電極8における貫通孔800のステム側開口81の面積よりも小さい、直径1.5mmまで収束させ、APD14の電子入射面148に入射させる。APD14のアノード146には、上述したように、約50倍のアバランシェ増倍ゲインが得られるように、-150Vが印加される。また、このAPD14のカソード(ステム10が該カソードとして機能している)は0Vが与えられる。

【0054】ここで、入射面板1を介して光が入射すると、光電面16から真空中に電子が放出される。この放出された電子は、電子レンズにより加速されるとともに、収束され、15keVのエネルギーを有してAPD14の電子入射面148に入射される。電子入射面148に入射された該電子は、APD14内で3.6eVのエネルギーを失うごとに電子-正孔対を1ヶつつ生成するので、この最初の増倍過程で約 4×10^3 倍(該入射電子のアバランシェ増倍領域に到達するまでの電子照射ゲイン)程度増倍される。さらに、これらのキャリアがアバランシェ増倍領域を通過して半導体基板140に到達するまでのアバランシェ増倍ゲインは、約50である。これにより、APD14の全体として入射電子に対する二次電子のゲインは、 2×10^5 程度に達する。

【0055】この発明に係る電子管では、上述したように、初段の増倍率が4000と従来の電子管に比べて約3桁高いので、S/Nの非常によい検出が可能である。現に、発明者らは、非常に微弱なパルス光が入射して、平均4電子程度が光電面から放出されたとき、従来の電子管では、弁別できなかった入力電子数(入射光子数に換算できる)を、この発明に係る電子管により弁別できることを確認した。この発明に係る電子管で得られる、このような特性は、生体微量物質から放出される蛍光を定量的に観察する際に非常に有効である。

【0056】なお、光電面16に-15kVという高圧を印加しても、電子管内で放電が発生しないことは重要である。ここでいう放電とは、光電面16や半導体素子14を破壊してしまう激しい放電のみならず、これらには危害を与えないような微弱な放電も含む。特に、微弱な放電も発光を伴うことが多く、該放電により発生した光が任意の経路で光電面16に戻り、結果として、疑似

信号(ノイズ)を発生してしまうからである。

【0057】この発明に係る電子管は、高圧を維持する絶縁体であるガラスバルブ5の縁面距離(該ガラスバルブ5の管軸方向AXの長さ)を極力長くするように24mmに設定している。また、電界が集中して放電のトリガとなるカソード電極3の先端部分を、帯電によって電位が不安定になるガラスバルブ5の内壁502から離している(図2及び図4参照)。すなわち、カソード電極3は、光電面16から半導体素子14に向かってその外径が小さくなる形状を有している。さらに、カソード電極3の先端部分は電界の集中を避けるために、曲率半径1mmの半円形の断面形状としている(図6参照)。以上の構成によって、この発明に係る電子管は、高電圧を印加するときに発生しやすい微弱な放電を回避するための構造を実現している。

【0058】この発明に係る電子管は、さらに、時間特性に着目して、カソード電極3とアノード電極6とを互いに近づけている。すなわち、カソード電極3はアノード電極6に向かって突出した形状を有し、該アノード電極6はカソード電極3に向かって突出した形状を有する。これは、各電極3、6を接近させることにより、光電面16から放出された電子を十分に加速させる電界強度を確保するためである。また、このように電極3、6を接近させることは、電極間の真空放電が絶縁物の縁面放電に比べて発生しにくいという経験則に基づいており、実際にこの距離は耐圧を制限していない。さらに、時間特性の観点より、光電面16から半導体素子14までの光電子の走行距離、走行時間を短縮することを目的として、半導体素子14も光電面16に近づけられている。これらの構造により、光電面16から半導体素子14までの走行時間揺らぎを小さくして、50ps(ピコ・セカンド)程度の時間特性を実現している。

【0059】以上のように、カソード電極3とアノード電極6を接近させることは、また、絶縁性材料からなるガラスバルブ5の、真空中を走行する電子への影響を除去する効果もある。すなわち、該ガラスバルブ5は、真空中を迷走する電子やイオンのために帯電して、様々な電位を取り得る。したがって、ガラスバルブ5の内壁502が電子軌道に対して露出した構造であると、該帯電による影響を受けて出力電流が不安定になり、当該電子管はドリフト特性が劣化する。

【0060】この発明に係る電子管では、上述したように、カソード電極3の一部をアノード電極6に向かって突出させるとともに、該アノード電極6の一部をカソード電極3に向かって突出させることにより、各電極3、6を接近させた構造を備える。換言すれば、図10に示されたように、カソード電極3における貫通孔300のステム側開口32、及びアノード電極6における開口部600それぞれは、ガラスバルブ5の第1の開口500と第2の開口501によって定義される、該ガラスバル

ブ5の内部空間503内に位置している。このように構成することにより、カソード電極3からアノード電極6に向かう電子に対して直接露出された、該ガラスバルブ5の内壁502は最小限(図中L2で示された領域)に制限されるので、リードピン15を介して得られる出力電流が安定する。

【0061】また、コリメータ電極8(0V)は、電子入射面148(-150V)に対して正の電圧が印加されているので、電子入射面148から光電面16に戻るイオンを抑制することができる。ここで抑制されるイオンは、半導体素子14の電子入射面148に吸着していた分子・原子状のガスであり、入射した一次電子によって電子がはじき出され、正にイオン化したものである。これらのイオンは、電子入射面148とコリメータ電極8との間に、正イオンにとっての逆バイアスが印加されているので、該コリメータ電極8を通り抜けて、光電面16に戻ることはできない。

【0062】このように、イオンが光電面16に戻らないという特性は重要である。すなわち、当該電子管では、光電面16と半導体素子14間に高電圧が印加されているために、光電面16に戻るイオンは同様の高いエネルギーを持って戻ることになり、光電面16に破壊的なダメージを与えるからである。したがって、光電面16に戻るイオンを抑制できないときには、光電面16の寿命、即ち、当該電子管の寿命は著しく短縮されてしまう。

【0063】

【発明の効果】以上のようにこの発明によれば、絶縁性材料であるガラスバルブの縁面距離を充分とり、かつ、カソード電極の外径が半導体素子に向かうにしたがって小さくなっている。この構成により、該ガラスバルブの帯電を抑え、該カソード電極とガラスバルブ間での間欠的な放電の発生を回避できるので、当該電子管に充分に高い電圧を安定して印加することが可能になる。

【0064】また、アノード電極をカソード電極に近接させ、該各電極間を走行する電子に対して直接露出した部分を最小限にするよう、ガラスバルブの内壁を該各電極で該電子と内壁とを遮蔽しているのので、時間特性がよく、該ガラスバルブは帯電の影響も受けにくくなり、当該電子管の長時間の安定した動作を実現することができる。

【0065】さらに、コリメータ電極の機能により光電面から放出された電子も半導体素子に垂直に入射するので、電子数の高い弁別能力を有する電子管が得られるという効果もある。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明に係る電子管全体の組立工程を示す図

である。

【図2】この発明に係る電子管の構造を示す一部破断斜視図である。

【図3】図2に示された電子管における絶縁容器(内部は真空状態)の封止構造を示す図である。

【図4】この発明に係る電子管の構造を示す断面図であり、図2に示されたD-D線に沿ってその断面構造を示す図である(光電面形成後)。

【図5】図4に示された断面図の一部を示す図であり、アノード電極へのコリメータ電極の取り付け構造を説明するための図である。

【図6】この発明に係る電子管におけるカソード電極の構造を示す断面図、光電面側から該カソード電極を見た平面図、及びステム側から該カソード電極を見た平面図である。なお、この図におけるカソード電極の断面構造は、図1に示されたA-A線に沿って示された断面構造と一致している。

【図7】この発明に係る電子管におけるコリメータ電極の構造を示す断面図、光電面側から該コリメータ電極を見た平面図、及びステム側から該コリメータ電極を見た平面図である。なお、この図におけるアノード電極の断面構造は、図1に示されたC-C線に沿って示された断面構造と一致している。

【図8】図4に示された断面図の一部を示す図であり、ステムに搭載されたアバランシェ・ホトダイオード(半導体素子)の詳細構造を示す図である。

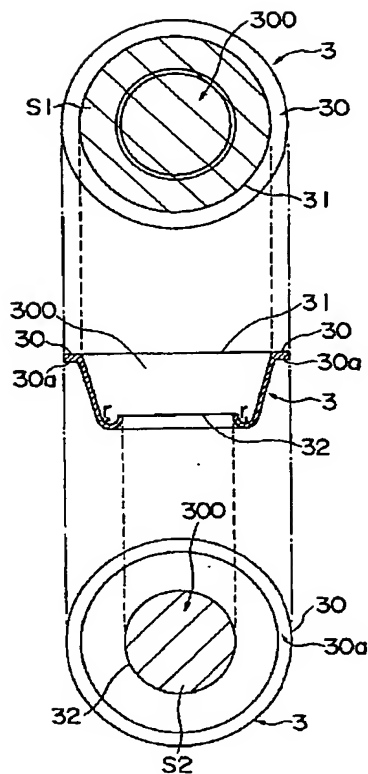
【図9】図8に示された半導体素子の電子入射面とその有効領域との関係を説明するための図であり、光電面側から該半導体素子を見た平面図である。

【図10】この発明に係る電子管におけるガラスバルブ(絶縁容器)の構造を示す断面図であり、図1に示されたB-B線に沿ってその断面構造を示す図である。

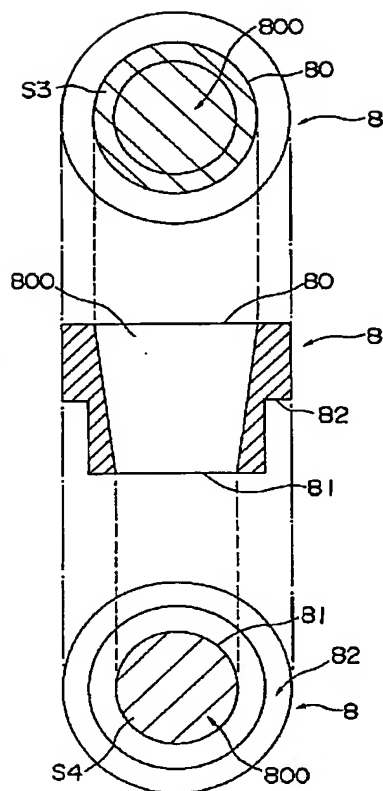
【符号の説明】

1…入射面板、2、4、9…フランジ、3…カソード電極、5…ガラスバルブ、6…アノード電極、7…遮蔽板、8…コリメータ電極、10…ステム、14…APD(アバランシェ・ホトダイオード)、16…光電面、30…カソード電極3の光電面側開口、32…カソード電極3のステム側開口、80…コリメータ電極8の光電面側開口、81…コリメータ電極8のステム側開口、148…電子入射面、300…カソード電極3の貫通孔、500…ガラスバルブ5の第1の開口、501…ガラスバルブ5の第2の開口、502…ガラスバルブ5の内壁、503…ガラスバルブ5の内部空間、600…アノード電極6の開口部、700…金属遮蔽板7の開口部、800…コリメータ電極8の貫通孔。

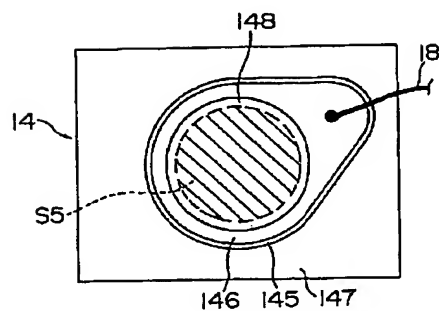
【図6】



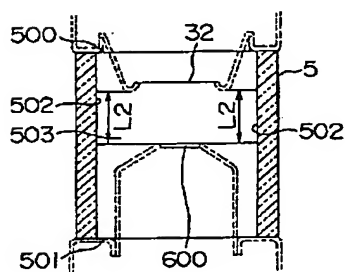
【図7】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 平野 賢
静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ
トニクス株式会社内

(72)発明者 朝倉 憲夫
静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ
トニクス株式会社内

(72)発明者 森田 哲家
静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ
トニクス株式会社内